



TITLE:

認識過程の中の量子力学(量子情報理論と開放系)

AUTHOR(S):

松野, 孝一郎

CITATION:

松野, 孝一郎. 認識過程の中の量子力学(量子情報理論と開放系). 数理解析研究所講究録 1997, 980: 44-55

ISSUE DATE:

1997-02

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/60873>

RIGHT:

認識過程の中の量子力学

長岡技術科学大学生物 松野孝一郎 (Koichiro Matsuno)

認識あるいは観測と量子力学との関係を眺める見方には大きく分けて、二通りあります。一つは量子力学の枠組みの内から認識、観測を導き出そうとするものです。これはボーア、ボルン、フォン・ノイマンという先達によって押し進められて来ました。量子力学の運動法則にそれとは矛盾しない操作を適当に加えることにより認識、観測を導くとするのがそれです。これに対するもう一つの見方は、第一の見方とは全く正反対のものです。認識過程が先にあって、その過程と矛盾しない形で量子力学が導かれるとするものです。違いを一口で言い表しますと、量子力学から認識過程を導くのか、あるいは逆に、認識過程から量子力学を導くのか、となります。私の場合は、認識過程から量子力学を導く、とするものであります。今日、お話しさせていただく主題は、認識過程から量子力学が導かれるとするのを経験事実 に立脚する仕方で申し述べる、とするものです。ここでの経験事実とは生物ゆかりの現象を心積りとしております。また、ここから量子力学と情報過程の相互関係を解説する一つの視点が得られると考えております。

先ず情報過程から話しを始めます。我々が情報、あるいは情報過程につき漠然としながらもある種の共通理解を持っていると致しますと、それは少なくとも次の要点を含んでいます。行為する観測者の存在がそれであります。ここでの観測者は我々の同僚である物理学者でもあり得ますが、それに限りません。日常市井の人、更には人間以外の生物個体も当然これに含まれます。この観測者に共通するのは、観測する以前に何を観測するかを確定する手段を一切欠いている、とするあいまいさ、不定さの介入であります。行為する観測者は互いに相手が如何に振る舞うかを事前に確定する手段を欠いています。情報過程が対象とするのはこの様に、多数の行為する観測者によって構成された系であります。行為する観測者系はこの事前と事後との非対称性により原理的に非可逆となります。情報過程では行為する観測者での非可逆性がその根底に配されることとなります。

一方、この行為する観測者系を傍観する傍観者の立場も当然考えられます。傍観者は唯、眺めるだけであり対象に一切働きかけないとする現実離れをその特徴としています。そのため現実世界に対しては当然のことながら不十分な視点ではありま

すが、理論的には捨て難い利点があります。情報過程を担う行為する観測者系では事前と事後に非対称性のため時間の経過に対して不変に留まるものを見い出すのは困難であります。しかし、傍観者にとりましては行為する観測者系の集団を仮想することは可能であり、そこでの測度分布が不変であるとしてすることが出来ます。この不変測度分布に基づく傍観者の立場は既にシャノンによって40年以上も以前に解析、分析されています。この傍観者は測度分布が有意義である限り弁護されるものでありますが、測度分布が有意義となる情報過程は極めて限られています。測度分布が有意義になり得ないとしますと、それに立脚する傍観者の存在も怪しくなります。情報過程の問題は再び行為する観測者系そのものに戻ることになります。

情報過程を担うものとして行為する観測者系に関心を向けましたが、ここに至るまで量子力学との関連は一切触れないで来ました。そこで、次に行為する観測者系と量子力学との関連を見てみることにします。理論としての量子力学は元来、非局所的であります。この非局所性の由来は、空間的に広がった対象に数値を対応させながら、この数値は数値以外には還元され得ない、とする特殊事情の内に認められます。空間的に広がった波動関数に固有値をあてはめることにより、一次元軸上の局所点、数値でしかない固有値に三次元空間上で広がりを持った非局所物を対応させるとする、非局所性が量子力学の特徴であります。これはEPR非局所性において明らかであります。空間上局所的になっている波束を空間上で広がりを持った固有関数系で観測したとしますと、局所的な対象が空間的に広がった非局所対象の重なり合いとして認められることになります。局所的な対象が非局所対象として眺められるのは奇妙なことでありますが、これは量子力学の一大特徴そのものであります。しかも、対象とする波束を如何なる固有関数系で観測するのかを定めるのは観測者そのものです。ここに、行為者としての観測者の側面がはっきりと出て来ます。観測のために採用する固有関数系には無限の多様性がありますが、観測が為されたとしますとある特定の固有関数系が採用されたこととなります。それを採用したのは行為する観測者自体です。この採用の仕方に任意性が付きまとうのはウィーラーの遅延選択実験の示す通りです。観測者が採用すべき固有関数系を時々刻々勝手に変えて行けば、同じ対象があたかも時々刻々変わっていくかの如く観測されます。

量子力学の方から行為する観測者系、即ち、情報過程を眺めてみますと、対象を分節するために観測者が採用する固有関数系に恣意性があらわれて来ます。しかも、この”恣意性”の現れ方には絶えず事前と事後の非対称性が付随しています。量子力学の言葉に従えば、この行為する観測者は時々刻々観測のために採用すべき固有

関数系を勝手に決めて行き、それが波束の収縮に対応づけられます。しかし、量子力学系の時間発展で波束が収縮するのはあくまでも例外的であって、観測という操作が外から加えられる時に限ってこの収縮が実現します。行為する観測者系では量子力学での例外が常態として表れて来ることになります。

量子力学の理論に従えば、量子力学過程と観測者との関係は次の様になります。観測に対応づけられる波束の収縮の原因は常に考慮している量子力学過程の外に求められています。そのため、この外部由来の波束の収縮が一度生起してしまいますと、それ以後の時間発展の追跡を断念しなければならなくなります。以前と同じ量子力学過程に戻ることが出来なくなります。量子力学過程と観測との関係は、観測に関する限り一度限りとなります。シュテルン・ゲルラッハの実験でスクリーンを置く位置は任意でありますが、一度その位置を固定してしまいますとスクリーン上で干渉縞を作った個々の粒子のそれ以後の経過は一切不問とされています。シュテルン・ゲルラッハの実験において特記すべき点は、粒子とスクリーンの相互作用が唯一許容されている観測であって、それ以外の観測操作は考慮されていないことです。これは行為する観測者系とは大いに異なる点です。行為する観測者系では観測が絶えず為され続けています。観測が一度限りということはありません。逆に、観測が一度限りであるならば量子力学過程と観測との関係は、これまでの数え切れない事例が示しているように、実測との間ですばらしい一致を見て来ております。しかし、対象としている過程に含まれる観測が一回限りではなく、何回も入り込んで来るとしますと従来の量子力学過程と観測との関係をそのままの形で利用することが叶わぬことになります。一方、量子力学過程は当然のことながら物質過程を対象としていますが、理論の制約上観測が介入するのは一回限りとしています。それに対して、行為する観測者系としての情報過程も同じく物質過程を対象としていますが、観測の介入が何回であっても構わぬとする点において量子力学過程とは大きく異なります[1]。

そうしますと、ある一つの物質過程が与えられた時、それを観測の介入を一回しか認めない量子力学過程と見なすべきなのか、あるいは観測の介入を何回も認める情報過程と見なすべきなのか、を新たに判定するという問題が生じてきます。繰り返しますが、観測の介入を一回しか認めない量子力学過程が極めて多くの事例で成功して来たのは事実です。そのため、ある物質過程が量子力学過程か情報過程かを判定するための題材を探す分野は当然のことながら量子力学過程と観測の手法でまだ開拓され尽くしていない所となります。生物ゆかりの現象がその候補の一つとし

て浮かび上がってきます。今、問題にしているのはある物質過程が与えられた時、そこに含まれる観測は一回限りか、あるいはそれ以上か、であります。

その例題として、アクトミオシン系におけるATPの加水分解を考えてみることにします[2]。ここにアクトミオシン系を取り上げましたのは、この系は生物にとって普遍的な系であることに依ります。生物の出現、進化を物質過程として眺めた時、栄養摂取が最も基本的な特徴となります。この栄養摂取を可能とするのは生物個体の側からその外界へ働きかけるとする運動にあります。要は外界にある栄養分を自分の内に取り込もうとする運動があって、はじめて生物の出現、進化が可能となります。この生物運動を担うハードウェアがアクトミオシン系であり、ATPはそのエネルギー源であります。今、仮にアクトミオシン系でATPが加水分解される時、これらの分子間で Δt_m 時間毎に観測が繰り返し継起するものと想定してみます。そうしますと、当然の事ながら不確定性原理が適用され、 $\delta e \Delta t_m \sim \hbar$ で示されるエネルギー δe が、 Δt_m 時間毎の観測における不確定さとして表れてきます。一方、ATPの分子1ヶが分解されるに要する時間を Δt_d と致しますと、この Δt_d 時間内に発生し、蓄積されるエネルギー変動値 δE はその概算値において $\delta E \sim \delta e \cdot \Delta t_d / \Delta t_m$ となります。これは蓄積されるエネルギー変動値が個々の観測において発生する不確定さの相加値になっていることを表します。不確定性原理を用いますと、このATP分子1ヶが分解される時間内にはエネルギー変動値は $\delta E \sim \hbar \Delta t_d / \Delta t_m^2$ となります。この関係より繰り返し継起する観測の時間間隔 Δt_m の概算値を見積もってみます。ATP分子1モルを加水分解してADPに変換する際に発生するエネルギーは約7Kcalです。1分子当たり約 10^{-12} ergとなります。一方ATP分子1ヶが分解されるに要する時間 Δt_d は約 10^{-2} secであることが既に測定されています。このことより分子間で繰り返し為される観測の時間間隔 Δt_m は約 10^{-8} secとなります。アクトミオシン系がATP分子1ヶを分解する間に少なくとも 10^6 回の観測が繰り返し為されることとなります。これより、アクトミオシン系によるATP加水分解は一回限りの観測を伴う量子力学過程としての物質過程ではなく、繰り返し継起する観測を伴う行為する観測者系、即ち情報過程であることが判明します。

量子力学過程と情報過程の相違点は観測がそれぞれの過程にどの様に係わるかにあります。量子力学過程では観測が介入することによって同じ量子力学過程の更なる発展を断念する事がはからずももたらされています。シュテルン・ゲルラッハの実験ではスクリーンを立てた所で粒子の観測は終わってしまいます。何枚ものスク

リーンを立て、前方のスクリーンを通り抜けた粒子が後方に立てられたスクリーンと相互作用をして新たな干渉縞を作り、それを抜けてた粒子が更に後方にたてられたスクリーンと相互作用するという仕組みになっていません。それに反し、情報過程では頻繁に繰り返される観測こそが過程の主成分です。ATP分子1ヶが分解される情報過程では、これ以上分割できないとするATP分子1ヶからのエネルギー放出を追跡する過程において少なくとも 10^6 回の観測が連続して継起することになります。敢えて量子力学過程と結び付けるとするならば、量子力学過程と観測の組み合わせでもって継起する過程を逆に作り上げなければならないことになります。量子力学過程と観測の組み合わせを 10^6 個作り、その各々は一方の量子力学過程の観測結果がそれに継起する量子力学過程の初期状態を設定し、その量子力学過程の観測結果が継起する更なる量子力学過程の初期状態を設定するという仕組みになっている必要があります。量子力学過程と観測の組み合わせを互いに連鎖とした仕方では 10^6 個つなげなければならないことになります。この量子力学過程と観測との連鎖とした継起が一つの量子力学過程と観測に置き換えられる事が出来ないのは、量子力学過程と観測のいずれもが運動過程でありながら互いに異質なものを対象としていることに依ります。

量子力学過程はそこでの量子状態、波動関数を如何なる固有関数系列で展開、分節しようともその内容が不変に留まるとされています。要は、ユニタリー完備となっています。一方、観測においてはどの固有関数系列を用いて対象を展開するかを明示する事が必須の条件とされています。これは、観測する以前に何が観測されるかを確定する事が出来ないことの背景にあるものです。量子力学の不定さの由来は観測が採用する固有関数系列をあらかじめ確定することが出来ないとする所に認められます[1]。逆に、この量子力学の不定さは不完全であるといって非難されるべき対象であるのでは更々なく、真に量子力学の特徴がそこに表れています[3]。量子状態がどのような固有状態関数系列で分解、分節されようとも、重ね合わせたものが同一である限り、分解、分節に用いた固有状態関数系列の素性に関係なく同一の量子状態と見なされることになります。これに反し、観測においてはその観測に固有な分節の機構があります。観測とは元来観測器にとっての固有状態によって対象を分節するとの意でありますから、ある特定の固有状態関数系列のみが観測において有意となって来ます。このこと自体も、量子力学過程からの一つの結論であります。観測器を量子力学過程に従う対象としますとこれは当然、一つの量子系として固有状態系列を維持します。測定とは元来、対象をこれ以上他に還元することが出

来ないところまで還元を進めていく操作のことです。この観測器が還元することの出来る到達点はこの観測器の固有状態と固有値までです。この観測器の固有状態、固有値に達する仕方では対象の観測が遂行されます。この時、観測器を構成する固有関数系列は観測の対象となるものとは一見無関係に固定されていることになります。

そうではありますが、観測の対象と観測器の両方を含んだ対象・観測器系を一つの量子系として眺めると、そこでの固有状態を考える限り、それがどのような固有関数系列で分解、分節されようとも、重ね合わせた結果が同じであるならば、分解、分節の仕方に依存することなく対象・観測器系は同一に留まる、とする見解があります。これ自体は誤りのない、明解な話しであるため、極めて手ごわい見解であります。この正当な見解に抗して対象・観測器系を分解し、対象と観測器に分けるにはそのための新たな正当な理由が必要となります。この理由は量子力学がはからずとも伴うその二面性の内に見ることが出来ます。量子力学は一方では、重ね合わせた量子状態が同じである限り、それが何から出来上がっているかには依存することなく同一であることを認めます。そうではありながら、対象としている状態が如何なる量子状態から成り立っているのかも併せて問いかけます。重ね合わせた結果が同じであるのならば、構成要素は何であるかを問わないと一方で明言しながら、他方で如何なる要素から構成されているのかを問うています。これは一見矛盾しているかに見えますが、その責任はもちろん量子力学にある訳ではありません。量子力学が責を負うのは、重ね合わせた結果が同じであるのならば、構成要素は何であるかを問わないとする方です。しかも、このことは幾多の事例によってその確証が得られています。

それに対して、観測の方は量子力学とは無関係に、量子力学が出現するより遙か以前から、その方法が確立しています。如何なる観測器であれ、観測器は対象物を観測器に固有な仕方では分解、分節するのがその特徴であります[4]。観測器がこの様に理解され、利用されていますので、量子力学が出現し、それが成功したとの確証を得た後であっても、観測器を必要とする限り、この観測器の基本特徴が温存、維持されている必要があります。量子力学と両立する仕方では言い直すならば、観測器にとって固有な仕方では対象を分解、分節することは観測器の固有関数系列、あるいは量子固有状態系列でもって対象を分解、分節することに帰着します。量子力学は構成要素が何であれ、重ね合わせた結果を最も基本的な対象物としますが、観測器はある特定の構成要素、観測器にとっての量子固有状態を優先させます。この力

点の置き方の違いが、対象と観測器を分離して扱うのと、この二つを一体のものと見なし対象・観測器系を一つの量子系として扱う場合との相違点として現れてきます。

一つの量子系としての対象・観測器系で最も基本となる対象は固有状態の重ね合わせによって構成された状態であって、個々の固有状態ではありません。それに対し、対象と観測器を分離した状況下で最も基本となるのは観測器にとっての固有状態です。対象・観測器系を一つの量子系と見なすことは誠に当然、妥当至極であります、そうすることによって観測器の特性に目をつぶることになります。このことが最も明瞭になるのは、対象・観測器系が何であるかを判定するのを求められる時です。この判定のためには、また新たな観測器が必要になる、との事態に至ってしまいます。元のもくあみとなります。これは、量子力学の枠内に観測の全てを押し込んでしまうことが困難であるとの単純な事実からの帰結です。観測器はそれにとって固有な固有状態によって対象を分解、分節し、しかもこの固有状態は量子力学によって明示されるものですが、量子力学そのものは如何なる固有状態を伴った観測器をもたらすかについては何も触れていません。この限りに置いて観測は量子力学の理論の枠組み内に押し込み得ない特性を内に伴っています。

観測を認める限り、対象と観測器との二項対比が不可避となります。即ち、観測は対象と観測器との相互作用となります。観測器はそれ自体で量子固有状態を伴い、対象はそれ自体として量子固有状態を当然伴います。観測という相互作用は対象の固有状態からの影響を受けて観測器の固有状態がどうなるか、どの状態に遷移するかを司ることになります。観測器が対象を観測するとは対象から影響を受けて観測器の固有状態が新たに定まることを意味しますが、その新たな状態とは新たな定常状態、あるいは定在波の立っている状態となります。この定在波そのものは量子固有状態、あるいは波動関数がそうである様に非局所的な対象であります、定在波が立つに至るまでの過程は時間の経過を要する局所過程であります。このことより、対象を観測するという対象と観測器の相互作用は、一つの非局所対象ともう一つの非局所対象との局所過程を通じての相互作用、と言い直すことが出来ます。全てを一つの非局所対象と見なしますと局所過程の入る余地がありません。対象・観測器系を一つの量子系と見なすことはこの全体を一つの非局所対象と見なすことになり、相異なる非局所対象が局所過程を通じて相互作用するという観測過程の入る余地はなくなります。全体を一つの非局所対象と見なすことはそこで非局所的な定在波が立っていることを明言するものでありますから、当然定在波が立つに至る過渡的な

状況は対象に含まれないことになります。量子力学自体は非局所対象を専らとし局所過程を考慮しなくても何等不都合はありませんが、観測を別途、あからさまに考えるとしますと局所過程を考慮しなければならなくなります。これは観測する以前に何が観測されるかを確定する手段は何もない、と言いつかれたことの根底に位置するものです。しかも、何事も光速を越えて伝播し得ないとするのがこの局所過程を支えています。これより局所過程は普遍的となります。仮に非局所対象を認めるとしても、それはその非局所対象内での局所過程を無視し得る限りにおいてであります。

これより、非局所対象と局所過程の関係は大きく分けて、三つに分類されます。全てが局所過程に従うとして非局所対象を一切排除するもの、非局所対象が局所過程を通じて相互作用するとするもの、更に全てが非局所対象であると見なすもの、の三分類がそれです。量子力学は元来全てが非局所対象であると見なす理論的立場に立脚しています。勿論、局所過程そのものを否定している訳ではありませんが、個々の局所過程が互いに相互作用し、その結果として得られた定在波を直接の関心事とすることによって、局所過程を全て非局所対象の内に整合のとれた形でうめこむことにより、局所過程を陽にはあつかいません。しかし、局所過程を全て整合のとれた形で非局所対象の内に埋め込むことが出来るかどうかは保証の限りではありません。

より条件を緩くした見解は、非局所対象とその相互間の局所過程による相互作用を認めるものです。これが観測という過程を認める立場に通じます。非局所対象を認めることにより量子力学の枠組みをそっくりそのまま拝借します。それと同時に局所過程を是認することにより量子力学が過度に要求する非局所性から幾分解放されることになります。更に全てを局所過程と見なしますと、非局所的な量子力学を採用することが叶わぬことになります。これは理論的、実用的のいずれの観点から見ても今現在において妥当な考え方とは思われません。最も妥当であると見なされるのは非局所対象とその相互間での局所過程であります。これが対象と観測器の相互作用の根底にある事象、過程ということになります。全てを非局所対象と見なし得るのは、非局所対象間に働く局所過程が何等かの観点から見て無視される極限となります。そうでない限りは、非局所対象とそれらの間の局所過程を介して全ての相互作用を見なければならぬことになります。物質過程を担う相互作用は全て観測過程として進行するものとして理解されることになります。物質系の内部で進行する観測過程、即ち内部観測過程においてその内部での局所過程が無視される限り

においてこの内部観測過程の全体が一つの量子状態と見なされることになります。この極限操作が採られない限り、物質由来の相互作用系は内部観測過程にある、と見なされることになります。これはとりも直さずこの相互作用系が行為する観測者系であることを言い表すものであります。

それでは物質由来の相互作用系が確かに内部観測過程にあること、即ち行為する観測者系であることを示すもう一つの例を見てみることにします。観測を相異なる二つの非局所対象間の局所過程を通じての相互作用と見なしますと観測は極めて普遍的となります。物理学者ばかりでなく、原子、分子までもが観測を行う行為者となります。何事も光速を越えて伝播し得ないことに留意しますと局所過程は不可避となりますが、量子力学由来の非局所対象はこの局所過程の存在にも拘らず非局所的であると思なされる対象に当てはまるものであります。伝播する局所過程の中にあつて定在波が立っていると見なされる領域がこの非局所対象となります。局所過程を通じて相互作用する非局所対象はいずれも他方を観測することになります。この観測においては不確定性原理が成立しています。

仮に、二つの非局所対象が一つの局所過程を通じて、相互作用しているものとします。しかもこの非局所対象を構成する自由度が1という極端な場合を考えてみます。非局所対象1が非局所対象2のエネルギーを観測する時、そのエネルギー e_2 の不確定性 δe_2 は $\delta e_2 \Delta t \sim \hbar$ に従います。 Δt は観測に要する時間です。一方、非局所対象2が非局所対象1のエネルギーを観測する時、そのエネルギー e_1 の不確定性 δe_1 は $\delta e_1 \Delta t \sim \hbar$ に従います。それぞれの非局所対象は観測器であると同時に観測対象でもあります。そのため、非局所対象2についてのエネルギー不確定性 δe_2 は観測対象である非局所対象2に固有な不確定性揺らぎと観測器として機能する非局所対象1に固有な不確定性揺らぎの和となります。観測対象に加えて観測器も揺らいでいるということであり、非局所対象1についても同様です。このことから、非局所対象2それ自体の不確定性揺らぎ $\delta^{(1)} e_2$ は見掛け上の観測値 δe_2 の半分となり、 $\delta^{(1)} e_2 \Delta t \sim \hbar / 2$ を満足することになります。対象1についても同様であります。 $\delta^{(1)} e_1 \Delta t \sim \hbar / 2$ を満足します。繰り返しになりますが、不確定性原理の不確定性は観測対象のみならず観測器にも由来することがここで留意されています[5]。

この見方をもう少し拡大し、全体でN個の非局所対象があり、それぞれを構成する自由度が1である場合を考えてみます。非局所対象kのエネルギー e_k はk以外の他の全ての非局所対象が関与しつつ、局所過程を介して観測されることになりま

す。この時の不確定性原理は $\delta e_k \Delta t \sim \hbar$ と表現されますが、この表式には非局所対象 k の他に観測器を構成する k 以外の全ての非局所対象での揺らぎも含まれています。非局所対象 k はそれ自体のみの揺らぎに関しては全体の寄与の $1/N$ 、即ち $\delta e_k \Delta t \sim \hbar/N$ となります。ここで、今励起されている量子エネルギーの平均値を $\hbar \nu$ としますとこの量子エネルギーを観測するに要する時間間隔 Δt は $\Delta t \sim 1/\nu$ となります。この平均量子エネルギーより定まる時間間隔を介して非局所対象 k それ自体のみの揺らぎ $\delta e_k \Delta t \sim \hbar/N$ を眺めてみますと、この意味する所は非局所対象 k においてエネルギー $\hbar \nu$ の量子が 1 ヶ新たに発生するかあるいは消滅する平均時間が $N \Delta t$ であるということであります。エネルギー $\hbar \nu$ の量子が時間間隔 $N \Delta t$ の内に平均して 1 ヶ発生するか、消滅することが観測されるとの内容がここから見て取れます。この発生活滅する量子は時間間隔 $N \Delta t$ の内、 Δt を単位として計測した内のどこかであり、事前には指定出来ませんが事後には確定出来ます。行為する観測者系としての情報過程の基本特性がここに表れています。

単位時間内にある事象が生起する確率を $1/2$ としてみます。一方、単位時間を費やす観測によってその時間内に事象が生起したか、しなかったかを確定することが出来ます。この時、単位時間を要する観測によって 1 ビットのインフォメーションが発生したことになります。この意味する所は、観測によって観測対象に付随していたあいまいさを 1 ビットだけ減ずることが出来た、ということです。これを簡単のため、慣用語法に従って観測によってインフォメーションが発生した、と表現しています。この見方に従うことにより、時間間隔 $N \Delta t$ 内にエネルギー $\hbar \nu$ ($\sim \hbar/\Delta t$) の量子 1 ヶの発生活滅が観測によって確定できるとするのは、その観測過程がインフォメーション生成速度を $2/N \Delta t$ [ビット/単位時間] とする情報過程であることを導きます。インフォメーション生成速度が零でないとは対象としている現象内部で観測、測定が進行しているとの意であります。ここで自由度 N が無限大となる熱力学極限を考えてみますと、インフォメーション生成速度は零となります。これは明らかに熱力学極限が存在するとしますとそれと整合のとれる結果になっています。

次に、インフォメーション生成速度が零ではない有限値を取る例に如何なるものがあるかについて考えてみます。この生成速度が零でないとは対象が行為する観測者系とみなされる情報過程であることを言い表しています。手取り早い例は生物由来の過程です。今地球上で生物の出現、進化を含めてそれを可能として来た空間

領域は凡そ地球面上の大気、海洋を含む1 kmの層であると考えられます。その体積は凡そ 10^{24}cm^3 です。この体積中に約300 Kの輻射場があるとし、この輻射場が伴い得る自由度数は300 Kの熱光量子が占有し得る状態数となり約 10^{31} となります。この 10^{31} 個の熱光量子が個々に非局所対象として他を観測すると同時に他によって観測されるとし、1自由度あたりのインフォメーション生成速度は $2/N \Delta t \sim 10^{-17}$ ビット/秒/自由度となります。これと対比すべきものとして試みに、DNAの突然変異率を考えてみます。突然変異率を取り上げるのはこれが生物過程においてインフォメーション発生を担う最も基本的な過程であると見なされることによります。例えば、多くの生物に認められるチロクロームCという蛋白をコードするDNAについてA, T, G, Cという4つの塩基の内で突然変異が生じる割合は100コドン当たり1億年に約5回と測定されています。A, T, G, Cの塩基の内での塩基置換による突然変異は4つの候補の内からの選択です。事前には不明ですが、事後には判明します。この塩基置換は確かに情報過程となります。A, T, G, Cという4つの値を伴う1自由度当たりのこの値の突然変異が300億年当たりに約5回起きることと等価になります。即ち、この突然変異ではインフォメーション生成速度が 10^{-17} ビット/秒/自由度となります。これは偶々地球上生物圏での輻射場でのインフォメーション生成速度と大略一致します。輻射場とそこに生息する生物との相互作用を考える限り、輻射場と結果的に十分強く相互作用することになる生物の構成自由度も輻射場と同一のインフォメーション生成速度を持つことになる筈です。そうでなければ強い相互作用の存在が否定されてしまいます。更に輻射場と生物を構成する物質との相互作用は時間さえかければ十分に強くなります[5], [6]。

以上まとめますと次の様になります。生物由来の物質過程としてアクトミオシン系でのATP加水分解を取り上げますと、そこでは1個のATPを分解する間に 10^6 回以上もの観測が継起していることが認められます。アクトミオシン系でのATP加水分解過程は確かに行為する観測者系としての情報過程であることが判明しました。またDNAの突然変異も事前の未定から事後の確定に移行する情報過程であり、この情報過程は生物現象を可能とする物質過程、即ち物質と輻射場との相互作用自体に固有な特徴でもあることが判りました。

ここに認められた情報過程と量子力学との関係は明解であります。量子力学では全てを一つの巨大な非局所対象として扱うのをその一大特徴としております。しかもこの非局所性につきましては理論的に見る限り数え切れない成功事例が付随して

います。このことについて言い争う余地はありません。一方、情報過程では相異なる複数の非局所対象が局所過程を介して互いに相互作用することを基本に置きます。方法論のレベルで局所過程の介入を求めています。この局所過程の由来は何事も光速を越えて伝播し得ないという経験事実にあります。単なる方法論である訳ではありません。情報過程が量子力学過程に移行するのは介在する局所過程が無視出来る極限であります。この極限を取る以前では、情報過程が量子力学過程より、より基本となります。

参考文献

- [1] Matsuno, K., 1989. *Protobiology: Physical Basis of Biology* (CRC Press, Boca Raton Florida) (和訳: 松野孝一郎訳, 1991. プロトバイオロジー: 生物学の物理的基礎 (東京図書))
- [2] Matsuno, K., 1993. Being free from *ceteris paribus*: a vehicle for founding physics on biology rather than the other way around. *Appl. Math. Compt.* 56, 261-279.
- [3] Toyozawa, Y., 1992. Theory of measurement: a note on conceptual foundation of quantum mechanics. *Progr. Theor. Phys.* 87, 293-305.
- [4] 松野孝一郎, 1991. 自然選択の定量化とその限界. *生物科学* 43, 30-40.
- [5] Matsuno, K., 1993. Biology in the eyes of molecules. *Nanobiol.* 2, 37-41.
- [6] Matsuno, K., 1990. Nonlocality and symmetry in quantum mechanics versus localizability and symmetry-breaking in protobiology. In: *Symmetries in Science IV* (Gruber, B. & Yopp, J. H., Eds.) (Plenum Press, New York), pp. 125-146.